

ПАМЯТИ ЭКИПАЖА ВЕРТОЛЕТА МИ-8

КАПИТАН ВЛАДИМИР ВОРОБЬЕВ
СТ. ЛЕЙТЕНАНТ АЛЕКСАНДР ЮНГКИНД
СТ. ЛЕЙТЕНАНТ ЛЕОНИД ХРИСТИЧ
СТ. ПРАПОРЩИК НИКОЛАЙ ГАНЖУК

УДК 629.7

Ю.С. ПОДЗИРЕЙ

Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

МОБИЛЬНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Рассмотрена гипотетическая конструкция мобильного лазерного технологического комплекса на базе летающей платформы. Комплекс предназначен для дистанционной порезки металлических и железобетонных конструкций. В газотурбинный подъемный двигатель силовой установки платформы, выполненный в виде линейного генератора газа содержащего пульсирующий детонационный усилитель тяги, введены оптический резонатор и диффузор, которые образуют в совокупности с ГТД газодинамический сверхзвуковой СО₂ лазер. Активная среда лазера создается выхлопом усилителя и инъекцией вспомогательных газов. Для дистанционного окисления графита может использоваться расфокусированный ИК пучок.

Ключевые слова: газодинамический лазер, летающая платформа, оптический резонатор, радионуклиды, инверсия заселенностей.

Одной из первоочередных задач, решаемых в процессе ликвидации последствий катастрофы на АЭС, является локализация радионуклидов на местах и последующее их удаление с помощью специальных технических средств. Объект "Укрытие" фактически является сосредоточением, в форме произвольных скоплений, радиоактивных и ядерно-опасных делящихся материалов, находящихся в смеси с конструкционными, строительными и примененными при ликвидации аварии материалами [1].

В процессе проведения работ по преобразованию объекта "Укрытие" возникает задача, ранее не встречавшаяся в отечественной и мировой практике – компактирование и удаление лавообразных топливосодержащих масс, а также необходимость при этом свести к минимуму процесс пыления [2]. Обе задачи решаются как за счет инженерных мероприятий, так и за счет специальных механизмов и устройств.

Нанесение пенообразующих составов (ПОС) на труднодоступные для других технических средств пылящие объекты, особенно в первый период аварии, проводилось посредством вертолетов через профилированные отверстия распыляющих устройств Ми 26. При этом ширина обрабатываемой полосы составляла 10÷15 м за один пролет вертолета. Для нанесения ПОС на пылящие территории 30-ти км зоны ЧАЭС использовали, преимущественно: автотазовые станции типа АРС-14,15,12Д, ус-

тановки УМП-1 на шасси БелАЗ-543А, поливомоечные машины. Группировка вертолетов предназначенная для сброса материалов в активную зону реактора в отдельные дни достигала 80 единиц. Использовались самые большие в мире вертолеты Ми-26, способные брать на внешней подвеске до 20тс. Экипажи получали значительные дозы облучения – по 5 – 6 рентген за вылет. Не обошлось без аварий. Причиной падения вертолета Ми-8 в Чернобыле осенью 86 года было разрушение несущего винта при его ударе о стрелу крана

Для дистанционной резки при крупных техногенных авариях пока единственным известным средством является мобильный лазерный технологический комплекс МЛТК-50 производства Троицкого института инновационных и термоядерных исследований, созданный по заказу Газпрома [3]. Схема комплекса приведена на рис. 1. Транспортная база – два серийных автомобильных полуприцепа с платформами. Основой комплекса является дозвуковой импульсно-периодический электро-ионизационный СО₂ лазер, выполненный по открытой схеме. Мощность излучения 50 кВт. Авиационный турбовальный двигатель ТВД-0-100 прокачивает через рабочую камеру до 8 кг/с газовой смеси со скоростью около 50 м/с. Лазер может работать в течение 4–10 минут с интервалом между пусками около 20 минут. Система охлаждения оборудования водяная – автономная. Для функциони-

рования МЛТК необходим подвод электропитания мощностью порядка 750 кВт. Общий вес оборудования комплекса 50 тс. Оперативность работы МЛТК ограничена временем разворачивания МЛТК и наличием подъездных путей к объекту воздействия.

Для ликвидации последствий крупных техногенных аварий необходимы иные транспортные средства, имеющие равные с вертолетом возможности по перемещению в пространстве, более дешевые в производстве и эксплуатации и лишенные его недостат-

ков, имеющие возможность работать на малых и предельно малых высотах при наличии препятствий на местности. Поскольку вес и объем являются основными параметрами, определяющими существование летательного аппарата (ЛА), необходимо создать положение, при котором отдельные детали лазера и механизмы силовой установки ЛА являются общими.

Снижение веса и габаритов лазера может обеспечить сверхзвуковой CO₂ лазер на продуктах сгорания газотурбинного двигателя (ГТД) (рис. 2, а),

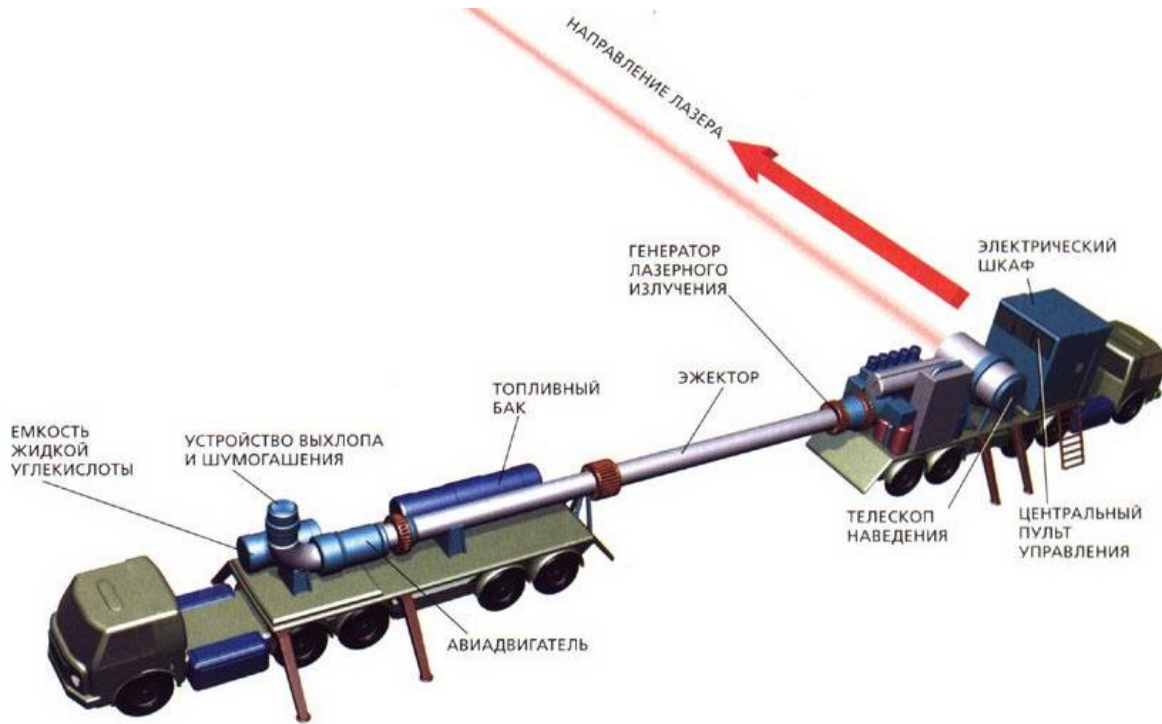


Рис. 1. Мобильный технологический комплекс МЛТК-50

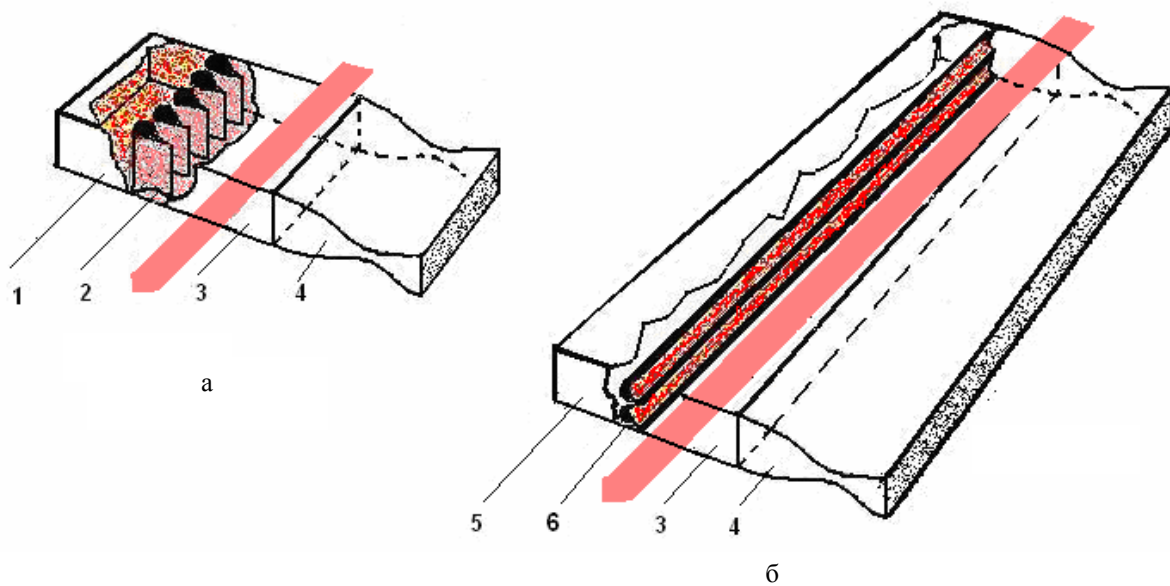


Рис. 2. Схема газодинамического лазера: а – на основе сопловой насадки ГТД [4], б – на основе теплового резонатора детонационного усилителя тяги.
 1 – прямоугольное сопло, 2 – сопловой блок, 3 – оптический резонатор, 4 – диффузор, 5 – химический реактор, 6 – тепловой резонатор

выполненный по открытой схеме. Инверсия заселенностей создается термическим путем сверхзвукового расширения. Однако в продуктах сгорания присутствует много частиц сажи, которые существенно ухудшают работу зеркал оптического резонатора, уменьшают выходную мощность излучения лазера и ресурс эксплуатации [4]. Кроме того, CO₂ лазер требует, чтобы статическая температура в зоне оптического резонатора не превышала 300 К (при этом температура газов на входе соплового блока составляет не менее 1800 К), а это приводит к высокой степени раскрытия сверхзвуковой части сопел, необходимости низкого статического давления в зоне оптического резонатора, большой степени эжекции газами турбокомпрессора и, как следствие, очень большой себестоимости эксплуатации подобного лазера.

На рис.2, б и рис. 3 приведена схема сверхзвукового CO₂ лазера на основе выполненного по линейной геометрии ГТД [5]. Лазер с открытым газодинамическим циклом в предлагаемом варианте работает следующим образом. От вспомогательной силовой установки подается напряжение в цепи контроля, управления и запуска двигателя. Роторам нагнетателя 2, 4, 8, 9 (рис. 3) придается вращательное движение. Атмосферный воздух через щелевой воздухозаборник 1 попадает в первое колесо воздухопровода, где захватывается лопатками ротора нагнетателя 2. Образующееся при этом диаметрально течение, обтекая возникший внутри ротора вихрь, сдвинутый направляющим аппаратом и проходя статорные лопатки (на рис. 1 не показаны), совершает поворот на угол более 90. Посредством «языка» 3, являющегося частью воздуховода, сжатый воздух направляется последовательно во второе, третье и четвертое колена, где дополнительно сжимается аналогичным образом. Перемещением "языка" в первом колене регулируется тяга двигателя. В первой ступени обеспечивается максимальная производительность.

Она работает как компрессор низкого давления. В последующих – обеспечивается максимальное сжатие, до 20 ед. После двух поворотов сжатый воздух разделяется на две части. Одна из них направляется к третьей и затем к четвертой ступени компрессора, а вторая в химический реактор 17 тягового модуля и далее в тепловой резонатор 16. Наличие выходного вала 21 позволяет передать крутящий момент на источник электропитания, необходимый для собственных систем ГТД и платформы. Необходимое постоянство давления на входе тяговых усилителей достигается перемещением дроссельной заслонки 6, расположенной после второй ступени компрессора.

Наличие пульсирующего усилителя тяги (ПудД) [6, 7] в силовой установке существенно меняет дело. Процессы сгорания топлива в ПудД и ГТД имеют резко отличный характер. Топливо усилителя перед сжиганием разлагается на менее сложные легкие компоненты в химическом реакторе 17. Вследствие резонанса, степень сжатия смеси топливо-окислитель достигает 150–200 ед, а частота пульсаций 5–7 кГц. На рис. 4 представлен ход температуры и давления по оси камеры сгорания ГТД и теплового резонатора ПудД. Для ПудД характерен более резкий перепад температур, т.е. система в данном

Наличие пульсирующего усилителя тяги (ПудД) [6, 7] в силовой установке существенно меняет дело. Процессы сгорания топлива в ПудД и ГТД имеют резко отличный характер. Топливо усилителя перед сжиганием разлагается на менее сложные легкие компоненты в химическом реакторе 17. Вследствие резонанса, степень сжатия смеси топливо-окислитель достигает 150–200 ед, а частота пульсаций 5–7 кГц. На рис. 4 представлен ход температуры и давления по оси камеры сгорания ГТД и теплового резонатора ПудД. Для ПудД характерен более резкий перепад температур, т.е. система в данном

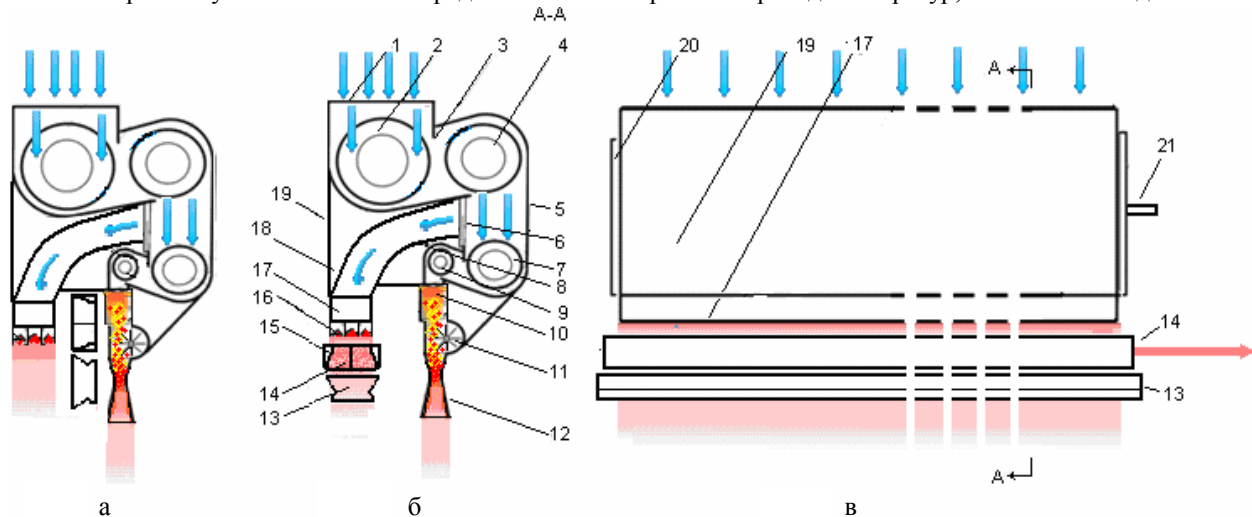


Рис. 3. Схема получения активной среды CO₂ лазера: а – транспортное положение; б – рабочее положение; в – боковая проекция: 1 – воздухозаборник; 2, 4, 7, 9, – роторы компрессора; 3 – заслонка управления тягой; 5, 8 – воздуховод, 6 – заслонка отбора сжатого воздуха; 10 – камера сгорания; 11 – газовая турбина полукоткрытого типа; 12 – сопло Лавала; 13 – диффузор; 14 – оптический резонатор; 15 – система охлаждения резонатора; 16 – топливный резонатор; 17 – химический реактор разложения топлива; 18 – топливный бак; 19 – картер; 20 – трансмиссия; 21 – вал отбора мощности

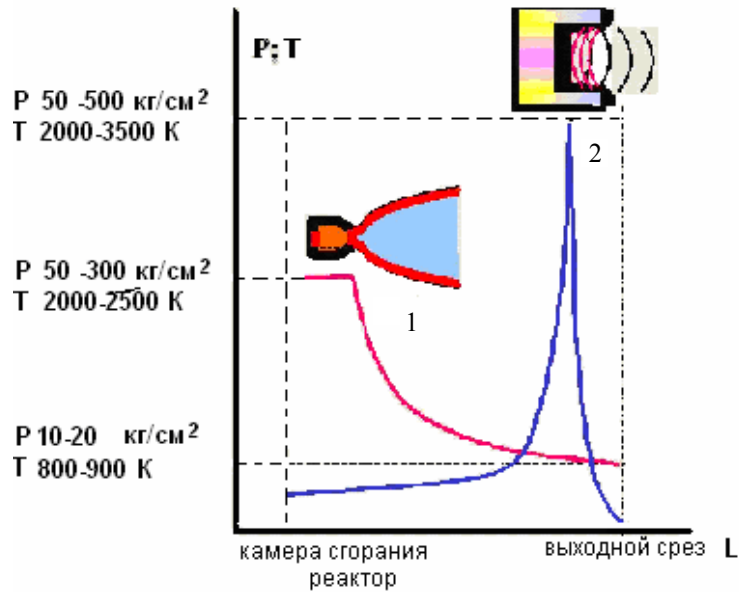


Рис. 4. Давление и температура камеры сгорания ГТД (1) и резонатора пульсирующего детонационного усилителя тяги (2) (данные НТЦ Имплаз)

случае является более неравновесной. Температура сгорания в топливном резонаторе 6 (рис. 2), 16 (рис. 3), вследствие эффекта Гартмана–Шпренгера более высокая, чем в камере сгорания обычного ГТД [8], что приводит к большей заселенности верхних квантовых уровней. Однако температура на срезе резонатора, вследствие большего расширения рабочего газа, ниже и близка к той, которая необходима для создания малой заселенности нижнего квантового уровня. Это обстоятельство позволяет разместить оптический резонатор 14 в непосредственной близости от среза, что повышает его эффективность и сокращает объем занимаемый лазером

Сверхзвуковая скорость истечения продуктов горения обеспечивается без применения сопла Лавалля. Сажа и другие различные соединения в таком выхлопе отсутствуют. Кроме того, на время работы лазера возможна подача вместо авиационного керосина бензола С₆H₆ в смеси с закисью азота NO₂. Это позволит получить состав активной среды лазера близким к оптимальному [9]. Сама закись азота удобна для хранения в баллонах, так как при давлении 50 атм. переходит в жидкое состояние.

Реально, в газовых лазерах на продуктах сгорания энергия, излучаемая на единицу массы сжигаемой смеси (уд. энергия излучения) – 20 кДж/кг. Подобный лазер недостаточно эффективен. Только 7–10% от энергии сгорания идет на возбуждение колебательных уровней молекулы CO₂. Вследствие релаксационных потерь энергии в потоке, невысокого отношения энергии кванта лазерного излучения к энергии кванта, необходимого для возбуждения асимметричного колебания молекулы CO₂ (квантового кпд), и относительно небольшой эффективно-

сти оптического резонатора, не весь энергозапас может быть трансформирован в лазерное излучение.

Однако необходимая мощность пучка может быть достигнута за счет увеличения длины оптического резонатора или последовательно-параллельного включения нескольких резонаторов, как это показано на рис. 5. Четыре газогенератора (рис. 3) создают поперечные струи и прокачивают рабочий газ через оптические резонаторы 1 (рис. 5).

Скачки плотности, возникающие на срезе топливных резонаторов 6 (рис. 2), как показано в работе [4], не оказывают заметного влияния на расфазировку пучка, а синхронизация работы нескольких резонаторов 6, размещенных параллельно, обеспечивается единым химическим реактором 5 и общими каналами подвода топливно-воздушной смеси (на рис. 2, 3 не показаны), образующими все вместе единую резонансную систему. Индуцированное излучение выпускается через аэродинамические окна 6 (рис. 5) и, отражаясь от глухих зеркал 2, 3, проходит через полупрозрачные зеркала 4. Поворотная призма 5 выводит пучок в плоскость, ортогональную плоскости рисунка. Частота пульсаций активной среды определяется геометрическими размерами теплового резонатора. Подобные высокочастотные лазерные системы с большой средней мощностью, длительностью от единиц до сотен наносекунд, **позволяют реализовать принципиально другой механизм взаимодействия излучения с веществом** – возгонку (абляцию), обеспечивающую локальность выделения энергии не только в пространстве, но и во времени. При этом происходит взрывное локальное испарение вещества без промежуточной жидкой фазы [10].

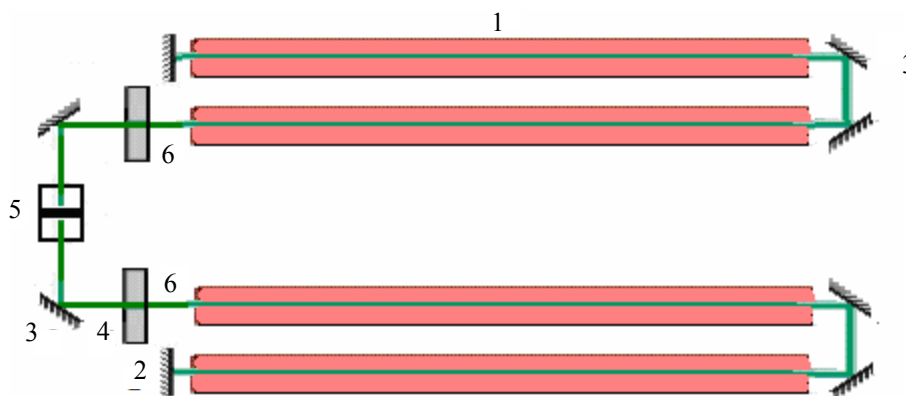


Рис. 5. Оптическая схема сверхзвукового газодинамического CO₂ лазера с последовательно-параллельным включением оптических резонаторов:

1 – оптический резонатор; 2, 3 – глухое зеркало; 4 – полупрозрачное зеркало; 5 – поворотная призма

В рассмотренной конструкции ограничителем мощности является охлаждение фокусирующих линз, которое может быть организовано на основе методики встречных газовых пучков, применяемой при термообработке некоторых материалов. Для окисления графита возможно применение расфокусированного пучка. Это позволяет существенно, в 50–90 раз, снизить объем материала и отделить от графитовой матрицы радионуклиды [11].

Для лазера авиационного базирования низкий КПД не является критическим – неиспользованная часть энергии рабочего газа может быть употреблена на создание подъемной силы.

На рис. 6 представлена летающая платформа [12], положение подъёмных двигателей которой соответствует оптической схеме лазера на рис. 5. Подобное расположение двигателей приводит к образованию щелевого эжекторного усилителя тяги (ЭУТ), имеющего наибольший коэффициент эжекции атмосферного воздуха и тягоусиления – до 2. Разрежение, возникающее на выходе диффузора лазера 13 (рис. 3), позволяет откачивать рабочий газ с высокой скоростью.

Управление по высоте и крену осуществляется заслонками 12 (рис. 6). Одновременное введение в ЭУТ всех заслонок меняет высоту, а введение справа или слева меняет крен платформы. Комбинированная работа сопел 11 позволяет менять курс, осуществлять боковое параллельное смещение, разворот на месте или отработывать задний ход. Ранее ГТД рассматривался как компрессор наддува для более экономичного пульсирующего детонационного двигателя (ПудД) [7, 12]. Соответственно его параметры были минимизированы. В данном случае, ГТД – это основной двигатель, задача которого – обеспечить как вертикальную тягу, так и наддув химического реактора, работающего на лазер. Горизонтальная тяга обеспечивается аналогичным менее

протяженным и соответственно менее мощным маршевым двигателем, выполненным без усилителей тяги. Работает он по принципу, описанному выше. В отличие от подъемного двигателя (рис. 3), маршевый имеет подвижное в вертикальной плоскости сопло 14 для управления по тангажу. Его конфигурация представлена на рис. 7. Для подачи топлива может быть использована магистраль высокого давления (система common rail) и расположенные параллельно ей форсунки испарительного типа. Конструкция двигателя более технологична и он более надежен, чем ГТД с осевым, центробежным или диагональным компрессором. Анализ типичных отказов ГТД в процессе эксплуатации показывает, что большинство обусловлено их консольным креплением. В предлагаемых ГТД лопатки крепятся за оба конца. Усиление их несущей способности при большой длине двигателя возможно за счет колец, периодически расположенных в плоскости ортогональной продольной оси рабочего колеса.

Летающая платформа существенно проще и дешевле вертолета. Она может быть снабжена двумя фокусирующими системами для вывода пучка в верхней или нижней полусфере, в зависимости от поставленных задач и высоты полета. В конструкции отсутствует тяжелый редуктор, вес которого сопоставим с весом двигателя, автомат перекоса, несущий винт и рулевой винт с длинной трансмиссией [13]. Лопатки компрессора и турбины, вместо длительного, дорогого и сложного процесса направленной кристаллизации, могут быть изготовлены простым методом низкотемпературной экструзии [14].

Использование летающей платформы, имеющей возможность нести большую полезную нагрузку (до 30 тс) в виде различного оборудования, в том числе мощного CO₂ лазера, создает качественно новые возможности для ликвидации последствий аварий на АЭС.

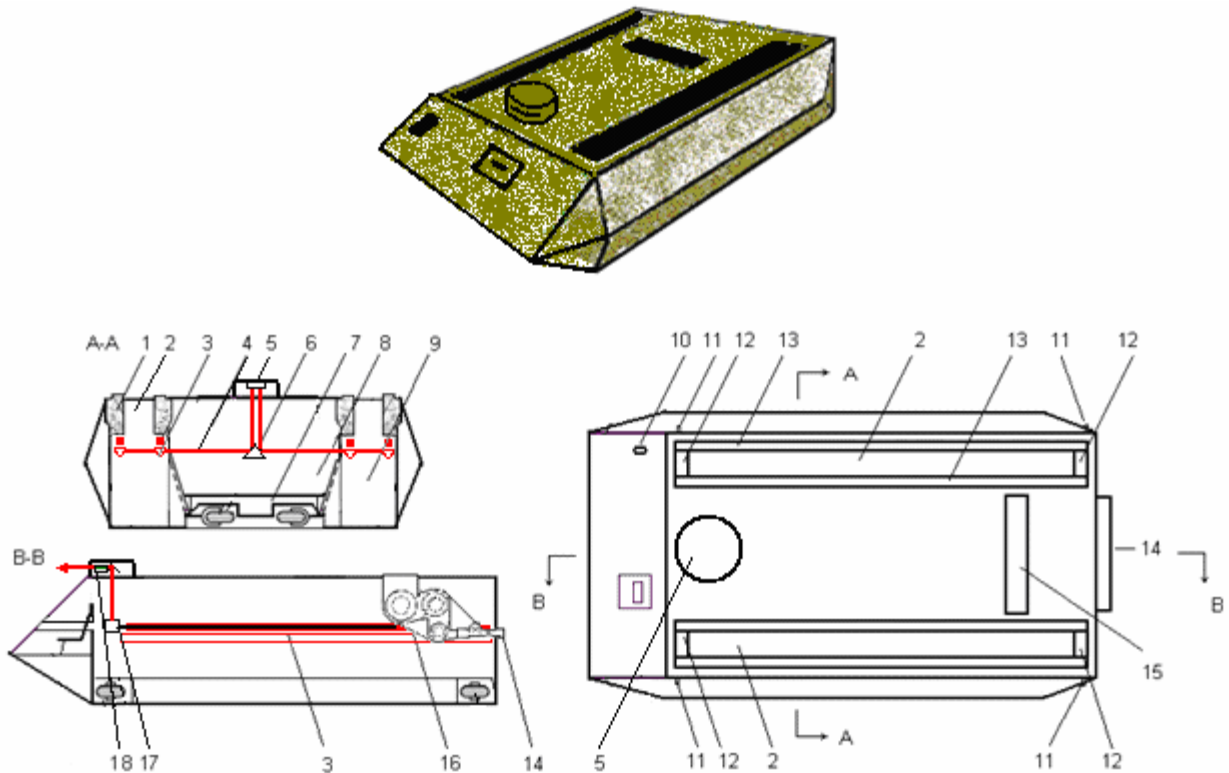


Рис. 6. Летящая платформа в варианте лазерного технологического комплекса: 1 – подъемный двигатель; 2 – конфузор щелевой эжекторной усилителя тяги (ЭУТ); 3 – оптический резонатор; 4 – ИК-пучок лазера; 5 – фокусирующая система; 6 – поворотная призма; 7 – шасси; 8 – отсек систем обеспечения работа лазера; 9 – камера смещения ЭУТ; 10 – датчик системы позиционирования; 11 – сопла управления по курсу; 12 – заслонки управления по высоте; 13 – воздухозаборник подъемного двигателя; 14 – сопло маршевого двигателя; 15 – воздухозаборник маршевого двигателя; 16 – маршевый двигатель; 17 – глухое поворотное зеркало

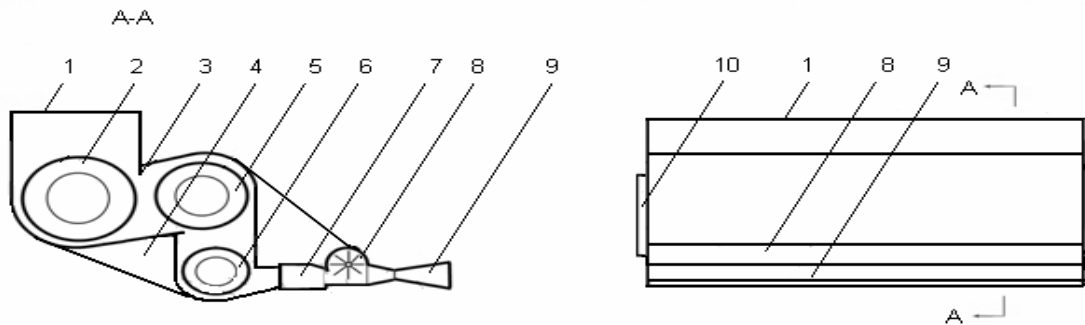


Рис. 7. Газотурбинный маршевый двигатель: 1 – щелевой воздухозаборник; 2, 5, 6 – роторы многоступенчатого поперечно-поточного нагнетателя; 3 – устройство управления тягой в виде "языка"; 4 – расходный топливный бак; 7 – камера сгорания; 8 – одноступенчатая газовая турбина полукрытого типа; 9 – сопло Лавалья; 10 – блок трансмиссии

Литература

1. Чернобыльская катастрофа [Текст] / Под ред. академика НАНУ В.Г. Барьяхтара. – К.: Наук. думка, 1995. – 559 с.
2. Научно-техническое обеспечение эксплуатационных работ по дезактивации и пылеподавлению в помещениях объекта "Укрытие". Разработка

технологии использования осаждающихся (дезактивирующихся) пен для пылеподавления и предотвращения выбросов радиоактивной пыли и золь [Текст]: отчет о НИР / МНТЦ "Укрытие"; Токаревский В.В., Степанов И.К., Макаров В.И. [и др.] – Чернобыль, 1994. – 127 с. – арх. №3227.

3. Мобильный лазерный технологический комплекс "МЛТК-50" [Электронный ресурс]. – Режим

доступна к ресурсу: <http://www.triniti.ru/Mltc50.html>. – 5.06.2011 г.

4. Андерсон, Дж. Газодинамические лазеры: введение [Текст] / Дж. Андерсон. – М.: Мир, 1979. – 206 с.

5. Подзирей, Ю.С. Двигатели и двигатель противопожарной летающей платформы [Текст] / Ю.С. Подзирей // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – № 2 (19). – С. 54-57.

6. Пат. 2034996 Российская Федерация, F02K3/08. Способ получения тяги и устройство для его осуществления [Текст] / Антоненко В.Ф., Масс А.М., Минин С.Н. [и др.]; Заявитель и патентообладатель Антоненко В.Ф., Масс А.М., Минин С.Н. [и др.]. – № 93046334/06; заявл. 11.10.1993; опубл. 10.05.1995.

7. Нечаев, Ю.Н. Пульсирующий детонационный двигатель – новый тип двигателя для авиации [Текст] / Ю.Н. Нечаев, А.И. Тарасов // Полет. – 2000. – № 4. – С. 13-20.

8. Нечаев, Ю.Н. Области возможного применения пульсирующих детонационных двигателей [Текст] / Ю.Н. Нечаев, А.И. Тарасов [и др.] // Полет. – 2007. – № 5. – С. 22-30.

9. Аблеков, В.К. Справочник по газодинамическим лазерам [Текст] / В.К. Аблеков, Ю.Н. Денисов, Ф.Н. Любченко. – М.: Машиностроение, 1982. – 168 с.

10. Высокочастотный импульсно-периодический режим генерации в мощных широкоапертурных лазерах [Текст] / В.В. Аполлонов, В.В. Кийко, В.И. Кислов, А.Г. Суздальцев, А.Б. Егоров // Квантовая электроника. – 2003. – № 33 (9). – С. 753-757.

11. Гринько, А.М. Технологические основы переработки радиоактивных графитосодержащих материалов [Электронный ресурс] / А.М. Гринько, В.В. Токаревский // 5-я Международная конференция «Сотрудничество для решения проблемы отходов». 2-3 апреля 2008 г., Харьков, Украина. – Режим доступа к ресурсу: <http://waste.ua/cooperation/2008/theses/grinko.html>. – 5.06.2011 г.

12. Подзирей, Ю.С. Одно из возможных направлений применения пульсирующего детонационного двигателя [Электронный ресурс] / Ю.С. Подзирей // Двигатель. – 2010. – №3 (69). – Режим доступа к ресурсу: <http://engine.aviaport.ru/issues/69/page22.html>. – 15.04.2011 г.

13. Подзирей, Ю.С. О полноценной замене несущего винта [Текст] / Ю.С. Подзирей // Авиация общего назначения. – 2010. – № 12. – С. 30-35.

14. Хаймович, П.А. Криодеформация металлов при всестороннем сжатии [Текст] / П.А. Хаймович // Вопросы атомной науки и техники (Серия: физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение). – 2006. – №4 (89). – С. 28-34.

Поступила в редакцию 6.06.2011

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф., заместитель генерального директора В.В. Токаревский, Государственная корпорация «Украинское государственное объединение «Радон»», Киев.

МОБІЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОЇ ОБРОБКИ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

Ю.С. Подзирей

Розглянута гіпотетична конструкція мобільного лазерного технологічного комплексу на базі літаючої платформи. Комплекс призначений для дистанційної порізки металевих та залізобетонних конструкцій. В газотурбінний під'ємний двигун силової установки платформи, виконаний як лінійний генератор газу, об'єднаний з пульсуючим детонаційним підсилювачем тяги, введені оптичний резонатор та дифузор, котрі створюють разом з ГТД газодинамічний надзвуковий CO₂ лазер. Активне середовище створюється вихлопом підсилювача та інжекцією допоміжних газів. Для дистанційного окислення графіта можна використовувати расфокусований ІЧ пучок.

Ключові слова: газодинамічний лазер, літаюча платформа, оптичний резонатор, радіонукліди, інверсія заселеностей.

MOBILE TECHNOLOGY COMPLEX FOR DISTANCE TREATMENT OF RADIONUCLIDE WASTE

Y.S. Podzirey

The construction of laser mobile technology complex on the base of flying platform is consider. The complex design for cutting metal and rain forced concrete constructions which arise as result of accident on atomic power station. In GTE power unit platform add CO₂ super sonic laser. The active medium of laser created by means exhaust of pulse detonation amplifier and subsidiary gas.

Key words: gas dynamic laser, flying platform, radio nuclides, quantum excitation levels.

Подзирей Юрий Степанович – канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник отдела физики плазмы Института ядерных исследований НАН Украины, Киев.